

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-111101

(43)Date of publication of application : 12.04.2002

(51)Int.Cl.

H01S 3/06  
G02B 6/122  
H01S 3/094

(21)Application number : 2000-296371

(71)Applicant : TOSHIBA CORP

(22)Date of filing : 28.09.2000

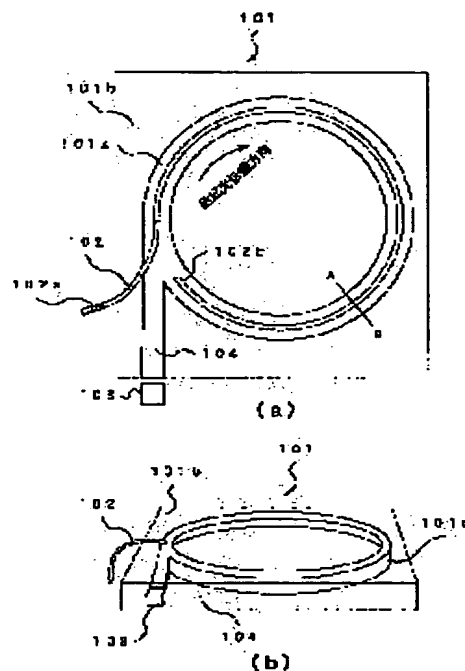
(72)Inventor : AKAMATSU NAOKI  
KAWAI KIYOYUKI  
KIMURA MASANOBU  
FUSE KAZUYOSHI  
SUGIYAMA TORU  
SATO TAKASHI

## (54) LASER LIGHT SOURCE DEVICE

## (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To reduce the cost of a laser light source device by making unnecessary the precise alignment between a semiconductor laser and an optical fiber by projecting a complicated optical system needed at the time of guiding the light excited by means of the semiconductor laser to an optical fiber and, at the same time, improving the coupling efficiency of the guided excited light to the optical fiber.

**SOLUTION:** The optical fiber 102 is buried in a ring optical waveguide code 101a having a refractive index which is almost equal to that of the clad of the fiber 102, and the excited light from the semiconductor laser 103 is guided to the fiber 102 through a light guiding section 104 and subjected to excitation on side face. Since the core 101a is surrounded by a ring optical waveguide clad 101b having a low refractive index, the guided excited light is propagated and runs around in a fixed direction in the core 101a. Consequently, a laser activation material contained in the core of the optical fiber 102 can be excited efficiently.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 28.09.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 07.02.2003

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

(19) 日本国特許庁 (J P)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-111101

(P2002-111101A)

(43) 公開日 平成14年4月12日 (2002.4.12)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テ-マコード*(参考)
H 0 1 S 3/06		H 0 1 S 3/06	B 2 H 0 4 7
G 0 2 B 6/122		G 0 2 B 6/12	B 5 F 0 7 2
H 0 1 S 3/094		H 0 1 S 3/094	S

審査請求 有 請求項の数 9 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願2000-296371(P2000-296371)

(22) 出願日 平成12年9月28日 (2000.9.28)

(71) 出願人 000003078

株式会社東芝

東京都港区芝浦一丁目1番1号

(72) 発明者 赤松 直樹

神奈川県横浜市磯子区新杉田町8番地 株

式会社東芝横浜事業所内

(72) 発明者 川井 清幸

神奈川県横浜市磯子区新杉田町8番地 株

式会社東芝横浜事業所内

(74) 代理人 100083161

弁理士 外川 英明

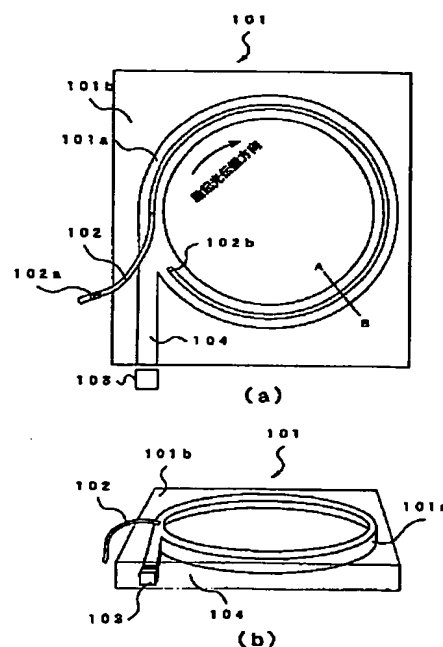
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 レーザ光源装置

(57) 【要約】

【課題】 半導体レーザによる励起光を光ファイバに導光する際の複雑な光学系を排除して両者の精密な位置合わせを不要とし、更に導光した励起光の光ファイバへの結合効率を向上することでコストの削減を図る。

【解決手段】 光ファイバ102のクラッドとほぼ等しい屈折率を持つリング光導波路コア101aに光ファイバ102を埋め込み、導光部104を通して半導体レーザ103から励起光を導光して側面励起する。リング光導波路コア101aは屈折率の低いリング光導波路クラッド101bによって囲まれているため、導光された励起光は光導波路コア101a内を一定方向に伝搬周回する。これにより、光ファイバ102のコア内のレーザ活性物質を効率的に励起することができる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 コア部とクラッド部からなる光ファイバに半導体レーザを用いて側面から所定波長の励起光を入射し、該コア部内のレーザ活性物質を励起して該光ファイバ内で共振させ、該光ファイバの出力端から所望する波長の光を出力するレーザ光源装置において、所定の断面及び前記クラッド部より低い屈折率を有し、リング形状に形成された光導波路コアと、前記光導波路コアとほぼ等しい屈折率を有し、該光導波路コアの周囲を取り囲む光導波路クラッドと、前記リング形状に沿って前記光導波路コア内に一部又は全部を埋め込まれた光ファイバと、前記光導波路コアと等しい屈折率を有し、前記光導波路クラッド内において該光導波路コアに接合され、前記励起光を該光導波路コア内で一定方向に伝搬周回するように導光する少なくとも一つの導光部とを具備したことを特徴とするレーザ光源装置。

【請求項2】 前記導光部が前記リング形状の接線方向に平行に設けられたことを特徴とする請求項1に記載のレーザ光源装置。

【請求項3】 前記光導波路コアの所定断面が多角形であることを特徴とする請求項1に記載のレーザ光源装置。

【請求項4】 前記導波路コアに埋め込まれた前記光ファイバが、該光導波路コアの前記所定断面上で偏心していることを特徴とする請求項1に記載のレーザ光源装置。

【請求項5】 前記リング形状の一部に直線部を有し、該直線部において前記導光部が前記光導波路コアに接合することを特徴とする請求項1に記載のレーザ光源装置。

【請求項6】 前記リング形状の一部に直線部を有し、該直線部において前記出力端が前記光導波路コアから引き出されていることを特徴とする請求項1に記載のレーザ光源装置。

【請求項7】 前記出力端が前記一定方向に対し逆方向に前記光導波路コアから引き出され、前記光ファイバの他端が前記光導波路コア内に埋め込まれていることを特徴とする請求項1に記載のレーザ光源装置。

【請求項8】 前記出力端が、前記所望する波長の光のみを反射する反射素子を有し、前記他端が、全ての波長の光を反射する反射素子を有することを特徴とする請求項7に記載のレーザ光源装置。

【請求項9】 コア部とクラッド部からなる光ファイバに複数の半導体レーザを用いて側面から異なる波長の励起光を入射し、該コア部内のレーザ活性物質を励起して該光ファイバ内で共振させ、該光ファイバの出力端から所望する波長の光を出力するレーザ光源装置において、所定の断面及び前記クラッド部より低い屈折率を有し、リング形状に形成された光導波路コアと、

前記光導波路コアより低い屈折率を有し、該光導波路コアの周囲を取り囲む光導波路クラッドと、前記リング形状に沿って前記光導波路コア内に一部又は全部を埋め込まれた光ファイバと、前記光導波路コアと等しい屈折率を有し、前記光導波路クラッド内において該光導波路コアに接合され、前記複数の半導体レーザからの異なる波長の励起光を該光導波路コア内で一定方向に伝搬周回するように各々導光する複数の導光部とを具備したことを特徴とするレーザ光源装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、レーザ光源装置に係り、特に半導体レーザの光で励起させる側面励起型のファイバレーザ光源装置に関する。

【0002】

【従来の技術】<従来例1> H. Poらによる“High power neodymium-doped single transverse mode fibre laser,” Electronics Letters, Vol.19, No.17, Aug.1993, pp.1500-1501 には、活性物質となる希土類イオンを添加した光ファイバを用い、半導体レーザ(LD)を励起光源としたファイバレーザの一例が開示されている。これによれば、波長807nm、出力15Wのマルチモード光ファイババンドル結合のLDバーを励起光源として、ダブルクラッド構造のファイバのコア部に希土類イオンの一つであるネオジウムイオン( $Nd^{3+}$ イオン)を添加したコア径7.5 $\mu m$ の光ファイバを使って、波長1.06 $\mu m$ 帯で5Wのレーザ光が得られたとある。

【0003】ここで、ダブルクラッド構造とは、コアに接する内側クラッド層と、この内側クラッド層よりも低い屈折率の外側クラッド層からクラッドが構成されている構造をいう。この従来例でのダブルクラッド構造では、内側クラッド層の断面形状を円形状ではなく100 $\mu m \times 300\mu m$ の矩形状としている。一般に、ダブルクラッド構造では、励起光をコアと内側クラッド層を合わせた領域へ入射させれば良いので、同一コア径の単一クラッド構造光ファイバに比べて、この例の場合には面積比で680倍と大幅に入射が容易となっている。

【0004】しかしながら、LDを励起光源とする場合、LDの発光出力の品質が悪いことに起因して入射に複雑なレンズ系を必要とするという問題点がある。この従来例では光ファイババンドル結合済みのLDバーを使用しているが、レンズ系を使って光ファイバの端部から励起光を入射しているため、全体として見ると光学系が複雑なために精密な位置合わせが必要であり、また高価であるという問題点が残る。また、コアと内側クラッド層との面積比が大きいため励起光をコアに添加した希土類イオンに吸収させるには面積比に見合う著しく長い光ファイバ構造が必要になるという問題点もある。即ち、短い光ファイバでは、励起光がコアに添加した希土類イ

オンに吸収されないまま放出され、結果として変換効率が低下してしまうのである。

【0005】<従来例2> USP 5,530,709, "Double-clad upconversion fiber laser" には、励起波長より短波長の出力光を得るアップコンバージョンファイバレーザの一例が開示されている。この従来例では、半導体レーザを基にしたレーザを励起光源として、ダブルクラッド構造ファイバのコア部に希土類イオンを添加した光ファイバを使っている。矩形断面形状の内側クラッドを使用したり、コアを偏心させたりして励起光のモード変換を積極的に行わせるようにして、励起光のコアへの入射確率を高め、延いてはコアに添加されたレーザ活性物質の励起光吸収を高める工夫がなされている。加えて、複数波長で励起したり、複数LDと合成手段を用いたりすることで、アップコンバージョン効率を高めた高出力レーザとしている。

【0006】しかしながら、この従来例では、光ファイバの端面から励起光を入射しており、レンズ系等の個別部品を使うので高価であり、また精密な位置合わせが必要になるという問題点がある。また、従来例1と同様に、コアと内側クラッド層との面積比に見合う著しく長い光ファイバが必要になるという問題点もある。

【0007】<従来例3> Th. Weberらによる "A longitudinal and side-pumped singletransverse mode double-clad fiber laser with a special silicone coating," Optics Communications, Vol.115, Mar.1995, p.99-104 には、光ファイバの端面からではなく、側面から励起を行うファイバレーザの一例が開示されている。

【0008】この従来例によれば、波長805nmのチタン・サファイアレーザを励起光源として、ダブルクラッド構造のファイバのコア部にNd<sup>3+</sup>イオンを添加した光ファイバを使って、波長1.06μmのレーザ出力光が得られたとある。励起方法としては、外側クラッド層のシリコンを取り去り、プリズムを内側クラッド層に取り付けてプリズム・ファイバ間結合で行っている。しかしながら、この従来例では、プリズムを使用して内側クラッド層の曲率を有する外周面に励起光を入射させるので結合効率が悪いという問題点がある。

【0009】<従来例4> 特開平10-135548号公報「光ファイバレーザ装置」及び特開平10-190097号公報「レーザ装置」には、側面励起を行うファイバレーザの他の例が開示されている。これらの従来例は長いレーザファイバを巻いて樹脂で固めファイバの端部や周辺部から励起光を入射するというものである。Nd<sup>3+</sup>イオンをコアに添加した約30km長のレーザファイバを円筒形状の塊に固めた例では、波長0.8μmの最大出力10Wの半導体レーザアレイ8個からの光を円筒に向け照射したとき波長30Wのレーザ光が得られたとある。しかしながら、これらの従来例では、Nd<sup>3+</sup>

イオン等のレーザ活性物質と光の相互作用長を大きく取る必要から長大なレーザファイバ長を必要とし高コストであるという問題点がある。

【0010】また、従来例1及び従来例2に示すように、ファイバ端面から励起光を入力する端面励起型では、励起光の一部がコア部の活性物質に吸収されるため、光ファイバ内を伝搬するにつれて励起光が指数関数的に減少してしまう。従って、励起光を完全にコア部の活性物質に吸収させるには長大なファイバ長を必要とし高コストであるという問題点がある。加えて、励起光入力側に近いほど励起光吸収が多く吸収に伴い発生する発熱量も多いので、ファイバ長さ方向に発熱量が不均一になるという問題点もある。

【0011】また、従来例1、従来例2及び従来例3では、複数のLDを使って励起光入力を増大させたり、複数波長の光を使って励起したりする場合に、結合用レンズ・プリズム等の高価な追加部品が必要となるという問題点がある。

【0012】更に、従来例1及び従来例2では、使用するレーザファイバに円形断面でない内側クラッド層を使っている。円形断面でないファイバは製造法が特殊で高価になるという問題点がある。

【0013】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、上述の事情に鑑みてなされたものであり、以下の各項を実現するレーザ光源装置を提供することを目的とする。

【0014】(1)励起LD光源とレーザファイバとの光結合において、精密な位置合わせを不要とし、コストを低減する。

【0015】(2)ファイバ長さ方向に発熱量をほぼ均一にする。

【0016】(3)複数の励起LD光源の使用を容易にする。

【0017】(4)ファイバ長を比較的短くしてコストを低減する。

【0018】(5)励起光のファイバへの結合効率を向上する。

【0019】(6)円形断面でない内側クラッド層を持ったり、偏心したコアを持ったりするダブルクラッド構造のレーザファイバを使うことなく同等の機能を実現する。

【0020】

【課題を解決するための手段】本発明のレーザ光源装置は、コア部とクラッド部からなる光ファイバに半導体レーザを用いて側面から所定波長の励起光を入射し、コア部内のレーザ活性物質を励起して光ファイバ内で共振させ、光ファイバの出力端から所望する波長の光を出力するものであり、所定の断面及びクラッド部より低い屈折率を有しリング形状に形成された光導波路コアと、光導波路コアとほぼ等しい屈折率を有し光導波路コアの周囲

を取り囲む光導波路クラッドと、リング形状に沿って光導波路コア内に一部又は全部を埋め込まれた光ファイバと、光導波路コアと等しい屈折率を有し光導波路クラッド内において光導波路コアに接合され、励起光を光導波路コア内で一定方向に伝搬周回するように導光する少なくとも一つの導光部とを備えたものである。

【0021】これにより、少なくともリング光導波路コア内で一周程度の長さの光ファイバを確保できれば良いのでそのコストを低減できる。また、その構成上、高精度な位置合わせを必要とせず、比較的容易に励起光を入射できる。また、励起光がリング形状に沿って伝搬周回しているので、励起光を無駄無く利用できるとともに、導光部を逆行する戻り光も少ない。更に、複数の導光部を設け、同一波長の励起光を導光する場合、励起光の伝搬方向が一定方向になるように揃えてあるため、導光部を逆方向に伝搬する戻り光を更に低減できる。加えて、所望する出力に応じて、導光部を複数設けることにより、励起光入力に必要なだけ増大させ、スケーラブルなレーザ光源装置とすることが可能である。更に、コア部、クラッド部、及び光導波路コアに励起光の殆ど全てのエネルギーを閉じ込めてマルチモード伝搬させることができる。

【0022】また、本発明のレーザ光源装置は、導光部がリング形状の接線方向に平行に設けられている。これにより、励起光が光導波路コアに対し効率良く合流できる。

【0023】また、本発明のレーザ光源装置は、光導波路コアの所定断面を多角形としている。これにより、励起光伝搬モードのモード混合効果を得ることができる。

【0024】また、本発明のレーザ光源装置は、導波路コアに埋め込まれた光ファイバが光導波路コアの所定断面上で偏心している。これにより、光ファイバ単体においてコア部を偏心させることなく、コア部への励起光入射吸収の効率を向上できる。

【0025】また、本発明のレーザ光源装置は、リング形状の一部に直線部を有し、この直線部において導光部が光導波路コアに接合している。これにより、励起光の伝搬を乱す要因となる導光部の接合位置が直線部に配置されるため、光導波路の曲線部において起こり易い曲がり方向とは逆の外側方向への放射損失を抑えることができる。

【0026】また、本発明のレーザ光源装置は、リング形状の一部に直線部を有し、この直線部において出力端が光導波路コアから引き出されている。これにより、励起光の伝搬を乱す要因となる出力端の引き出し位置が直線部に配置されるため、光導波路の曲線部において起こり易い曲がり方向とは逆の外側方向への放射損失を抑えることができる。

【0027】また、本発明のレーザ光源装置は、出力端が一定方向に対し逆方向に光導波路コアから引き出さ

れ、光ファイバの他端が光導波路コア内に埋め込まれている。これにより、該一定方向に対し同方向に出力端を引き出す場合と比べて光ファイバが光導波路を横断して引き出される位置での励起光の散乱を少なくできる。

【0028】また、本発明のレーザ光源装置は、光ファイバの出力端には所望する波長の光のみを反射し他の波長は透過する反射素子を有し、他端には所望波長を含む広い波長帯域において光を反射する反射素子を有している。この出力端の反射素子はリング導波路から引き出している。これにより、出力端の反射素子が発熱体から離れるため反射波長の温度変化が少なくなり、発振波長変動を抑えることができる。

【0029】更に、本発明のレーザ光源装置は、コア部とクラッド部からなる光ファイバに複数の半導体レーザを用いて側面から異なる波長の励起光を入射し、コア内のレーザ活性物質を励起して光ファイバ内で共振させ、光ファイバの出力端から所望する波長の光を出力するレーザ光源装置であり、所定の断面及びクラッド部より低い屈折率を有し、リング形状に形成された光導波路コアと、光導波路コアより低い屈折率を有し光導波路コアの周囲を取り囲む光導波路クラッドと、リング形状に沿って光導波路コア内に一部又は全部を埋め込まれた光ファイバと、光導波路コアと等しい屈折率を有し光導波路クラッド内において導波路コアに接合され、複数の半導体レーザからの異なる波長の励起光を光導波路コア内で一定方向に伝搬周回するように各々導光する複数の導光部とを備えたものである。

#### 【0030】

【発明の実施の形態】＜第1実施形態＞ 図1乃至図6を用いて本発明の第1の実施形態について説明する。図1(a)は本実施形態に係るレーザ光源装置の光導波路を上面から見た図であり、図1(b)はその斜視図である。

【0031】リング光導波路101は、リング光導波路コア101aと、101aより屈折率の低いリング光導波路クラッド101bからなっている。リング光導波路コア101aはリングの形状をしており、リング光導波路コア101aの外周はリング光導波路クラッド101bで覆われており、後述する励起光を閉じ込めて伝搬させる光導波路となっている。リング光導波路コア101aとリング光導波路クラッド101bは、後述する励起光の波長において透明である樹脂、例えば、PMMA（アクリル）、PC（ポリカーボネート）、シリコン、スチレンアクリロニトリル（SAN）やガラス等で作られる。

【0032】リング光導波路コア101aの領域には、単クラッドの光ファイバ102がリング形状に沿って埋め込まれている。ここで、少なくともリング光導波路コア101a内で一周程度の長さの光ファイバ102を確保できれば良いので、光ファイバのコスト低減を図れる。この光ファイバ102のコア部にはレーザ活性物質

である希土類イオンが添加されている。希土類イオンとしては、例えば、プラセオジウムイオン ( $\text{Pr}^{3+}$ )、ツリウムイオン ( $\text{Tm}^{3+}$ )、ルミウムイオン ( $\text{Ho}^{3+}$ )、エルビウムイオン ( $\text{Er}^{3+}$ )、ネオジウムイオン ( $\text{Nd}^{3+}$ ) が挙げられる。また、主たる添加イオンの励起を助けるエネルギー伝達を行う副添加イオンとしてイッテルビウムイオン ( $\text{Yb}^{3+}$ ) が挙げられる。

【0033】本実施形態ではプラセオジウムイオン ( $\text{Pr}^{3+}$ ) とイッテルビウムイオン ( $\text{Yb}^{3+}$ ) を共に添加したフッ化物ガラス光ファイバ102を例に説明する。インジウム系フッ化物ガラス、アルミニウム系フッ化物ガラス、ジルコニウム系フッ化物ガラス等のフッ化物ガラスはフォノンエネルギーが小さいと言われており、添加光ファイバのガラス母材として望ましい。この光ファイバ102は、波長850nmの光で励起され、635nmのレーザ光を出力するいわゆるアップコンバージョンファイバレーザを構成するために使用される。

【0034】光ファイバ102の一方の端102aはリング光導波路コア101aから引き出されており、出力端として使われる。光ファイバ102の他方の端102bはリング光導波路コア101a内に埋め込まれた状態となっている。

【0035】半導体レーザ103は、励起波長850nmの光を発光する半導体レーザで、高出力のため幅広の発光領域（例えば、幅500 $\mu\text{m}$ ×厚さ1 $\mu\text{m}$ ）を有するものである。半導体レーザ103から発する光はリング光導波路101の導光部104へ入射する。導光部104の断面は高屈折率差のコアとクラッドからなる高NA（開口数）の導波路となっており、高精度な位置合わせをしなくても光を入射することが可能となる効果がある。

【0036】入射光は導光部104からリング光導波路101のリングへと導かれる。導光部104のコアは、効率良く合流できるように、リング光導波路コア101aのリング形状とほぼ接するように交わっている。導光部104のコアはリング光導波路コア101aと同じ材質で一体化してある。また、導光部104のクラッドはリング光導波路クラッド101bと同じ材質で作られており一体となっている。

【0037】従って、リング光導波路101はY分岐付きの導波路として機能する。即ち、導光部104から導かれた励起光は、リング光導波路101のリングへ効率よく合流して、図1(a)で時計の回転する方向に伝搬し周回する。周回して再び導光部104との合流点に到達した励起光は、引き続きリングに沿って伝搬するので、無駄無く励起に利用される効果がある。また、励起光はリングに沿って伝搬するので、導光部104を逆行して半導体レーザ103へと戻る戻り光が少ないという効果もある。戻り光については、導光部104の入射口に空気に対する無反射コートを施し導光部104の入射口に

のレーザ光の反射を抑制すると更に望ましい。

【0038】また、光ファイバ出力端102aを励起光の周回する方向（時計回転方向）とは逆の方向へと引き出している。これは、同方向へと引き出す場合と比べ光ファイバ102がリング光導波路101を横断して引き出される位置での励起光の散乱が少ないという効果があるからである。

【0039】図1(a)で示したリング光導波路101のA-Bにおける断面図が図2(a)である。光ファイバコア102cと光ファイバクラッド102dからなる光ファイバ102がリング光導波路コア101a内に埋め込まれている。更に、リング光導波路コア101aをリング光導波路101bが取り囲んでいる。

【0040】図2(a)に示したC-D間の屈折率分布の例を図2(b)に示す。光ファイバコア102cの屈折率 $n_1$ 、光ファイバクラッド101dの屈折率 $n_2$ 、リング光導波路コア101aの屈折率 $n_3$ 、及びリング光導波路クラッド101bの屈折率 $n_4$ の関係として、 $n_2$ と $n_3$ がほぼ等しく、 $n_1$ が最も高く $n_4$ が最も低く、 $n_3$ と $n_4$ の差が大きなものとなっている。従って、光ファイバコア102c、光ファイバクラッド102d及びリング光導波路コア101aをコアとし、リング光導波路クラッド101bをクラッドとした導波路のコア部に励起光はほとんど全てのエネルギーを閉じ込められてマルチモード伝搬することになる。こうして、リング光導波路内を伝搬する励起光は伝搬につれて光ファイバコア102cの $\text{Yb}^{3+}$ イオンや $\text{Pr}^{3+}$ イオンに吸収される。

【0041】また、リング光導波路コア101aの断面形状を円形でなく多角形としたことで、励起光伝搬モードのモード混合効果を得ている。

【0042】更に、光ファイバ102をリング光導波路コア101a内部で偏心させて、光ファイバコア102cへの励起光入射吸収の効率を向上させることも可能である。図3(a)のように固定した偏心位置としても良いし、図3(b)のように場所によって偏心位置を変えて配置しても良い。但し、光ファイバ102単体についてはコアを偏心させていない。

【0043】光ファイバ端面のままでも反射面となり得るが、本実施形態では光ファイバ出力端102aに取り付けた反射素子であるファイバ・ブラッグ・グレーティングによって発振所望波長である635nm付近の狭い帯域内において数10%の反射率とし、光ファイバ反射端102bには、反射素子である誘電体多層膜により635nm付近を中心とする広帯域でほぼ100%の高反射率として、この両反射素子間をレーザ共振器構造としている。従って、発振波長は波長選択性の鋭いファイバ・ブラッグ・グレーティングの反射特性によって決定され発振し、光ファイバ102の出力端102a側から出力される。

【0044】このファイバ・ブラッグ・グレーティングを、リング光導波路101内に納めた反射端102bでなく、引き出される出力端102a側に置くことにより発熱体である希土類イオン添加領域から離れ温度変化を少なくし、発振波長変動が小さく抑えられる効果がある。また、図4に示すように両方のファイバ端102a、102bをリング光導波路101から引き出しても良い。

【0045】また、光ファイバ102は単一クラッドでコアが偏心せず中心にある通常の同軸形状であるので、特別な製造法を用いることなく安価に製造でき、また光ファイバ出力端102aと他の光ファイバとの接続にも光コネクタ等の従来の技術を使えるという利点がある。

【0046】本実施形態に係るレーザ光源装置の光導波路の形状として、図5に示すリング光導波路501のように、リング光導波路501のリング面でない位置に設けられた導光部504から励起光をリング光導波路コア501aに導くようにしても良い。尚、ここでは、簡単のため、リング光導波路クラッドや導波路コア内の光ファイバを省略してリング光導波路コアのみを示している。

【0047】また、本実施形態に係るレーザ光源装置の光導波路の形状として、図6に示すリング光導波路601のように、リング光導波路コア601aの一部に直線部を設けても良い。ここでは更に、導光部604が導波路コア601aの直線部で分岐した形状となっており、また、光ファイバ102の出力端102aの引き出し位置と反射端102bのある位置も、リング光導波路コア601aの直線部としている。

【0048】一般に、分岐、光ファイバの引き出し、反射端等の存在は、励起光の伝搬を乱す要因となる。また、曲がり導波路においては曲がり方向とは逆の外側方向へ放射が起こり易い。このため、ここでは励起光の伝搬を乱す要因である導光部604とリング光導波路コア601aとの合流部や光ファイバの両端部を、導波路コア601aの曲線部を避けて直線部に配置することで放射の損失を小さく抑えている。

【0049】以上、アップコンバージョンの場合を説明したが、励起光の波長より長い波長に変換されてレーザ発振するレーザファイバを用いた場合についても同様である。

【0050】＜第2実施形態＞ 図7乃至図9を用いて本発明の第2の実施形態について説明する。本実施形態に係るレーザ光源装置においては、図7に示すように、同一発振波長の半導体レーザを複数個用いて励起する構造となっている。リング光導波路701は、リング状に形成されたリング光導波路コア701aとその周囲を囲むリング光導波路クラッド701bからなっている。レーザ活性物質として希土類イオンをコア部に添加した単一クラッド構造の光ファイバ702がリング光導波路コア

701a内部に納められている。

【0051】第1の半導体レーザ703から出力された励起波長帯λ1のレーザ光は、第1の導光部704を伝搬し光強度分布を整えた後、リング光導波路701のリング部に合流する。一方、第2の半導体レーザ705から出力された励起波長帯λ1のレーザ光は、第2の導光部706を伝搬し光強度分布を整えた後、リング光導波路701のリング部に合流する。

【0052】第1の導光部704と第2の導光部706は、それぞれの導光部を伝搬してきた励起光の伝搬方向がリング光導波路701のリング部で同一方向（図7では時計回転方向）になるように揃えてある。この複数の導光部の配置により、導光部を逆方向に伝搬し各半導体レーザに帰る戻り光は小さいという効果がある。

【0053】また、励起光源として多数の半導体レーザを用いて励起するレーザ光源装置を図8に示す。リング光導波路801はリング状に形成されたリング光導波路コア801aとリング光導波路クラッド801bからなり、希土類イオンをコア部に添加した光ファイバ802がリング光導波路コア801a内に納められている。複数の半導体レーザ803から発せられた励起波長帯λ1のレーザ光は、半導体レーザ803それぞれに対応する導光部804を伝搬し、リング光導波路801のリング部に合流する。

【0054】各導光部804の配置は、各導光部804を伝搬してきた励起光の伝搬方向がリング光導波路801のリング部で同一方向（図8では時計回転方向）となるように揃えてあるので、各導光部804を逆方向に伝搬し各半導体レーザ803に帰る戻り光が小さいという効果がある。また、図6と同様にリング光導波路コア801aに直線部分を設け、各導光部804の分岐合流部を直線部分に配置したので、放射損失を少なくする効果がある。

【0055】上述したように、第2実施例に係るレーザ光源装置では、所望する出力に応じて、導光部を複数設けて複数の半導体レーザを使うことで励起光入力に必要なだけ増大させることが可能となる。この際、光導波路を作り変えるだけでよく、新たな部品を必要としない。

【0056】更に、本実施形態に係るレーザ光源装置の光導光部の形状として、図9に示すように、各半導体レーザ901のレーザ光がそれぞれの子導光部902へ入射し導光部903で合流した後、図示しないリング光導波路のリング部に合流するものとしても良い。

【0057】＜第3実施形態＞ 第3の実施形態であるレーザ光源装置を図10に示す。リング光導波路1001はリング状に形成されたリング光導波路コア1001aとリング光導波路クラッド1001bからなり、レーザ活性物質として希土類イオンをコアに添加された光ファイバ1002がリング光導波路コア1001a内に納められている。半導体レーザ1003から発せられた励



起波長 $\lambda 1$ のレーザ光は、導光部1004へ入射し、リング光導波路1001リング部へと伝搬し合流する。一方、半導体レーザ1005から発せられた励起波長 $\lambda 2$ のレーザ光は導光部1006へ入射し、リング光導波路1001のリング部へと伝搬し合流する。

【0058】光ファイバ出力端1002aには、発振波長 $\lambda 3$ では数10%の反射率を有する反射素子であるファイバ・ブラッグ・グレーティングが置かれている。一方、光ファイバ反射端1002bでは、発振波長 $\lambda 3$ ではほぼ100%の反射率の反射素子である誘電体多層膜が付けられている。従って、両反射素子間でレーザ共振器構造となり、波長 $\lambda 1$ 、 $\lambda 2$ の光を励起光として波長 $\lambda 3$ を出力する2波長励起レーザ光源装置が得られる。例えば、 $\text{Pr}^{3+}$ 、 $\text{Yb}^{3+}$ 添加光ファイバを用いて、波長 $\lambda 1$ が980nm帯、 $\lambda 2$ が810nm帯として励起し、635nmのレーザ出力を得る場合が挙げられる。

【0059】本実施形態では2波長励起の場合を説明したが、3波長以上の光を用いて励起することも導光部と必要な励起波長を出力する半導体レーザを適宜用意すれば可能である。また、本実施形態では各波長ともに1個の半導体レーザで説明したが、更に導光部を設置して各波長を複数の半導体レーザで構成しても良い。

【0060】<第4実施形態> 第4の実施形態であるレーザ光源装置を図11に示す。2波長励起のレーザ光源装置であって一方の励起波長光は光ファイバ端面からの入射とし、他方の励起波長光はリング光導波路を用いた側面入射の形態である。また、本発明に係るレーザ光源装置を励起光源として多段接続した形態とも言える。

【0061】第1のリング光導波路1101はリング状に形成されたリング光導波路コア1101aとリング光導波路クラッド1101bからなり、レーザ活性媒質として希土類イオンをコアに添加された光ファイバ1102がリング光導波路コア1101a内に納められている。半導体レーザ1103から発せられた励起波長 $\lambda 1$ のレーザ光は、導光部1104へ入射し、リング光導波路1101リング部へと伝搬し合流する。

【0062】光ファイバ1102の出力端1102aにはファイバレーザ発振波長帯 $\lambda 2$ の狭い帯域で数10%の反射率を持つファイバ・ブラッグ・グレーティングが置かれている。一方、リング光導波路コア1101a内に納められている反射端1102bにはファイバレーザ発振波長 $\lambda 2$ 付近を含む広い帯域でほぼ100%の反射率を持つ誘電体多層膜が付けられている。従って、これら反射素子間でレーザ共振器構造をなし、波長 $\lambda 2$ でレーザ発振する。この波長 $\lambda 2$ のレーザ光は、出力端1102aから接続部1105を通して光ファイバ1106へ伝搬する。

【0063】光ファイバ1106は、レーザ活性媒質として希土類イオンをコアに添加されており、第2のリング光導波路1107のリング状に形成されたリング光導

波路コア1107a内に納められている。リング光導波路1107は、リング光導波路コア1107aとそれを囲むリング光導波路クラッド1107bとなっている。一方、半導体レーザ1108が出力する発振波長 $\lambda 3$ のレーザ光は、導光部1109を伝搬して、リング光導波路1107のリング部へ合流する。

【0064】光ファイバ1106の出力端1106aには、ファイバレーザ発振波長 $\lambda 4$ で数10%の反射率を有するファイバ・ブラッグ・グレーティングが置かれており、他方の反射端1106bには、ファイバレーザ発振波長 $\lambda 4$ で100%の反射率を持つファイバ・ブラッグ・グレーティングが置かれている。従って、これらの反射素子間でレーザ共振器構造をなし、励起波長 $\lambda 2$ 、 $\lambda 3$ の2波長で励起され波長 $\lambda 4$ でレーザ発振する。例えば、反射端1106bに置いたファイバ・ブラッグ・グレーティングを励起波長 $\lambda 3$ でもほぼ100%の反射率となるようにして励起光利用の効率を上げて良い。

【0065】以上説明したようにして、レーザ光源装置から所望波長 $\lambda 4$ のレーザ光が出力端1106aから得られる。例としては、光ファイバ1102として $\text{Pr}^{3+}$ 、 $\text{Yb}^{3+}$ を共に添加した光ファイバを用い、励起波長 $\lambda 1$ が850nmの半導体レーザ1103により、発振波長 $\lambda 2$ が635nmのレーザ光を得るとともに、光ファイバ1107として、 $\text{Tm}^{3+}$ を添加した光ファイバを用い、励起波長 $\lambda 3$ が1210nmの半導体レーザ1108により、発振波長 $\lambda 4$ が480nmのレーザ光を得る構成がある。

【0066】以上の各実施形態において光導波路の形状を幾つか例示して説明したが、本発明の特徴は、導光部から導かれた励起光を光導波路内に効率良く合流させて一定方向に伝搬・周回させるものであるため、励起光を周回させ得る閉じた形状であれば他の形状であっても適用可能であることは言うまでもない。

【0067】

【発明の効果】以上、詳述したように、本発明によれば、リング状の導波路コア内に光ファイバを納めてダブルクラッド構造にするとともに、半導体レーザからの励起光を高NAの導光部で受けて強く閉じ込めたままリング状導波路へ導き側面励起するので、結合効率が高く、低コストで、精密な位置合わせの不要なレーザ光源装置を実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施形態に係るレーザ光源装置の光導波路を上面から見た概略図及びその斜視図。

【図2】同実施形態に係る光導波路の断面図及び屈折率分布図。

【図3】同実施形態に係る光導波路内で光ファイバを偏心させた実施例を示す図。

【図4】同実施形態に係る光導波路コアから光ファイバの両端を引き出した実施例を示す図。

【図5】同実施形態に係る導光部を光導波路のリング面からずらして設けた実施例を示す図。

【図6】同実施形態に係る光導波路に直線部を設けた実施例を示す図。

【図7】本発明の第2実施形態に係るレーザ光源装置の光導波路を上面から見た図。

【図8】同実施形態に係るレーザ光源装置に複数の導光部を設けた実施例を示す図。

【図9】同実施形態に係る導光部に複数の子導光部を設けた実施例を示す図。

【図10】本発明の第3実施形態に係るレーザ光源装置の光導波路を上面から見た図。

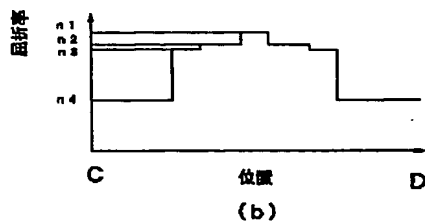
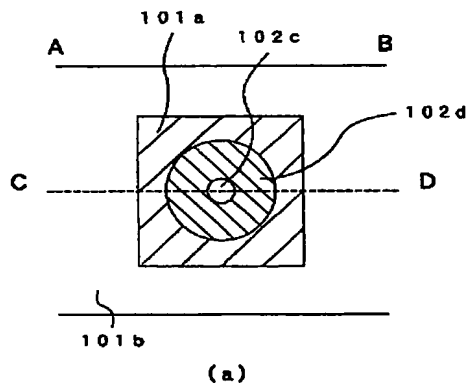
【図11】本発明の第4実施形態に係るレーザ光源装置の光導波路を上面から見た図。

【符号の説明】

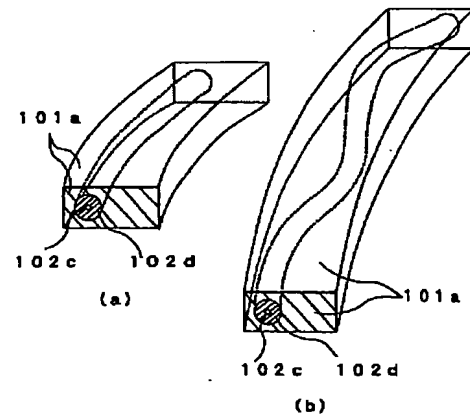
101…リング光導波路、101a…リング光導波路コア、101b…リング光導波路クラッド、102…光ファイバ、102a…光ファイバ出力端、102b…光ファイバ反射端、102c…光ファイバコア、102d…光ファイバクラッド、103…半導体レーザ、104…導光部、501…リング光導波路、501a…リング光導波路コア、504…導光部、601…リング光導波路、601a…リング光導波路コア、601b…リング光導波路クラッド、604…導光部、701…リング光導波路、701a…リング光導波路

コア、701b…リング光導波路クラッド、702…光ファイバ、703…第1の半導体レーザ、704…第1の導光部、705…第2の半導体レーザ、706…第2の導光部、801…リング光導波路、801a…リング光導波路コア、801b…リング光導波路クラッド、802…光ファイバ、803…半導体レーザ、804…導光部、901…半導体レーザ、902…子導光部、903…導光部、1001…リング光導波路、1001a…リング光導波路コア、1001b…リング光導波路クラッド、1002…光ファイバ、1002a…光ファイバ出力端、1002b…光ファイバ反射端、1003…第1の半導体レーザ、1004…第1の導光部、1005…第2の半導体レーザ、1006…第2の導光部、1101…第1のリング光導波路、1101a…第1のリング光導波路コア、1101b…第1のリング光導波路クラッド、1102…第1の光ファイバ、1102a…第1の光ファイバ出力端、1102b…第1の光ファイバ反射端、1103…第1の半導体レーザ、1104…第1の導光部、1105…接続部、1106…第2の光ファイバ、1106a…第2の光ファイバ出力端、1106b…第2の光ファイバ反射端、1107…第2のリング光導波路、1107a…第2のリング光導波路コア、1107b…第2のリング光導波路クラッド、1108…第2の半導体レーザ、1109…第2の導光部

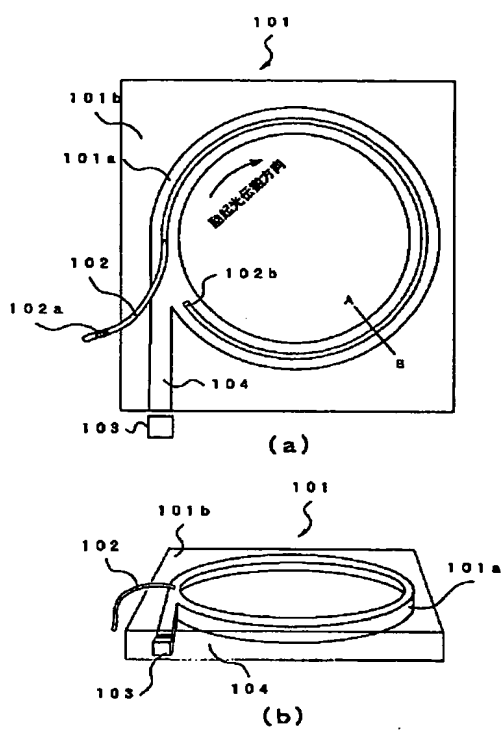
【図2】



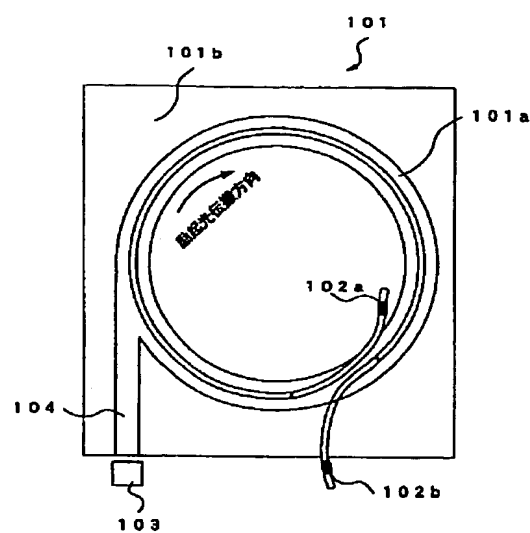
【図3】



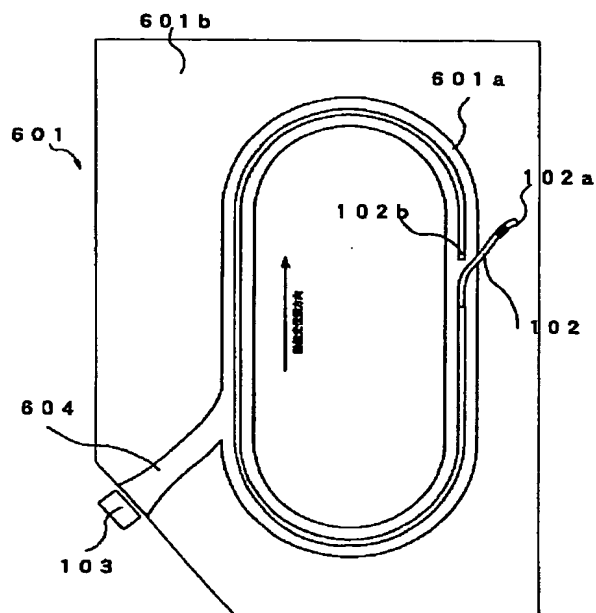
【図1】



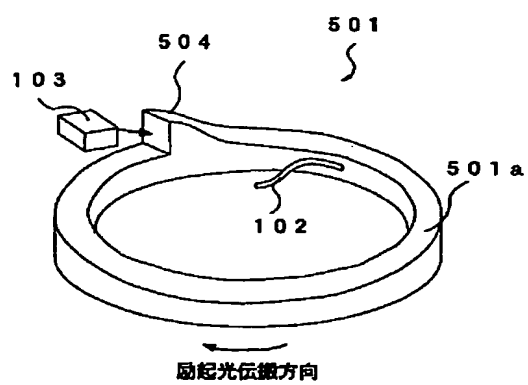
【図4】



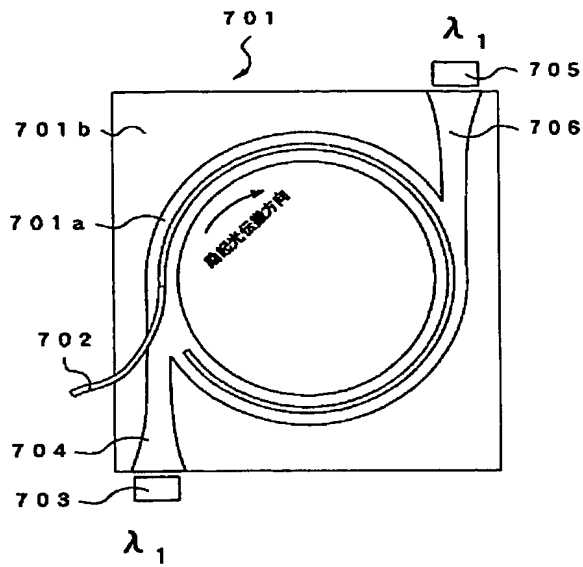
【図6】



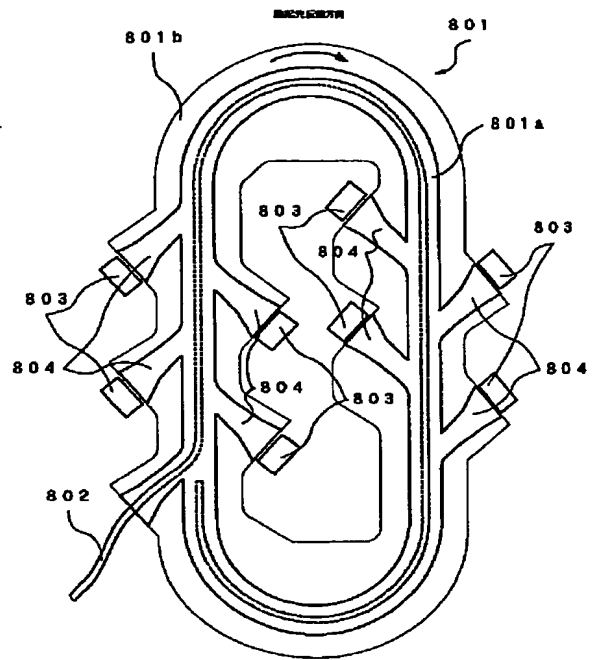
【図5】



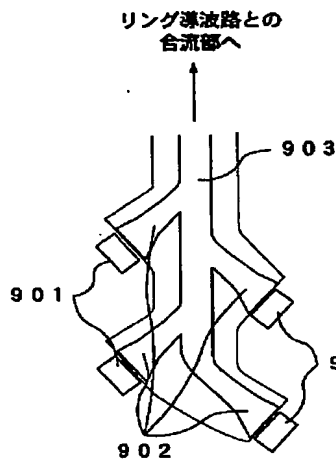
【図7】



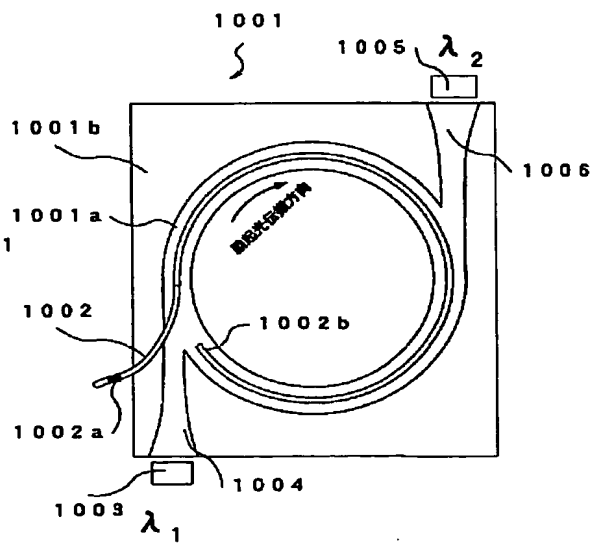
【図8】



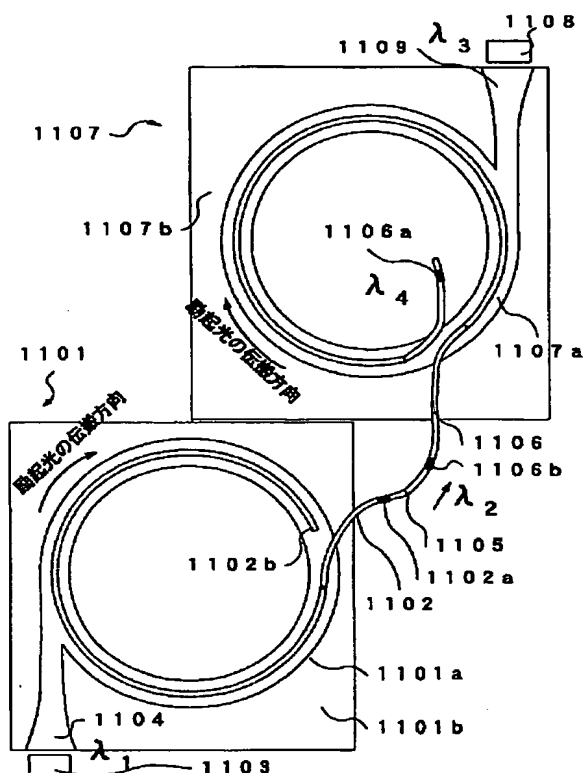
【図9】



【図10】



【図11】



【手続補正書】

【提出日】平成13年1月12日（2001. 1. 12）

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】特許請求の範囲

【補正方法】変更

【補正内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】 コア部とクラッド部からなる光ファイバに半導体レーザを用いて側面から所定波長の励起光を入射し、該コア部内のレーザ活性物質を励起して該光ファイバ内で共振させ、該光ファイバの出力端から所望する波長の光を出力するレーザ光源装置において、  
所定の断面及び前記クラッド部とほぼ等しい屈折率を有し、リング形状に形成された光導波路コアと、  
前記光導波路コアより低い屈折率を有し、該光導波路コアの周囲を取り囲む光導波路クラッドと、  
前記リング形状に沿って前記光導波路コア内に一部又は全部を埋め込まれた光ファイバと、

前記光導波路コアと等しい屈折率を有し、前記光導波路クラッド内において該光導波路コアに接合され、前記励起光を該光導波路コア内で一定方向に伝搬周回するように導光する少なくとも一つの導光部とを具備したことを特徴とするレーザ光源装置。

【請求項2】 前記導光部が前記リング形状の接線方向に平行に設けられたことを特徴とする請求項1に記載のレーザ光源装置。

【請求項3】 前記光導波路コアの所定の断面が多角形であることを特徴とする請求項1に記載のレーザ光源装置。

【請求項4】 前記光導波路コアに埋め込まれた前記光ファイバが、該光導波路コアの前記所定断面上で偏心していることを特徴とする請求項1に記載のレーザ光源装置。

【請求項5】 前記リング形状の一部に直線部を有し、該直線部において前記光導波路コアに接合することを特徴とする請求項1に記載のレーザ光源装置。

【請求項6】 前記リング形状の一部に直線部を有し、該

直線部において前記出力端が前記光導波路コアから引き出されていることを特徴とする請求項 1 に記載のレーザ光源装置。

【請求項 7】前記出力端が前記一定方向に対し逆方向に前記光導波路コアから引き出され、前記光ファイバの他端が前記光導波路コアに埋め込まれていることを特徴とする請求項 1 に記載のレーザ光源装置。

【請求項 8】前記出力端が、前記所望する波長の光を選択的に反射する反射素子を有し、前記他端が、前記所望する波長を含む波長帯の光を反射する反射素子を有することを特徴とする請求項 7 に記載のレーザ光源装置。

【請求項 9】コア部とクラッド部からなる光ファイバに複数の半導体レーザを用いて側面から異なる波長の励起光を入射し、該コア部内のレーザ活性物質を励起して該光ファイバ内で共振させ、該光ファイバの出力端から所望する波長の光を出力するレーザ光源装置において、所定の断面及び前記クラッド部とほぼ等しい屈折率を有し、リング形状に形成された光導波路コアと、前記光導波路コアより低い屈折率を有し、該光導波路コアの周囲を取り囲む光導波路クラッドと、前記リング形状に沿って前記光導波路コア内に一部又は全部を埋め込まれた光ファイバと、前記光導波路コアと等しい屈折率を有し、前記光導波路クラッド内において該光導波路コアに接合され、前記複数の半導体レーザからの異なる波長の励起光を該光導波路コア内で一定方向に伝搬周回するように各々導光する複数の導光部とを具備したことを特徴とするレーザ光源装置。

【手続補正 2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0020

【補正方法】変更

【補正内容】

【0020】

【課題を解決するための手段】本発明のレーザ光源装置は、コア部とクラッド部からなる光ファイバに半導体レーザを用いて側面から所定波長の励起光を入射し、コア部内のレーザ活性物質を励起して光ファイバ内で共振させ、光ファイバの出力端から所望する波長の光を出力するものであり、所定の断面及びクラッド部とほぼ等しい屈折率を有し、リング形状に形成された光導波路コア

と、光導波路コアより低い屈折率を有し、光導波路コアの周囲を取り囲む光導波路クラッドと、リング形状に沿って光導波路コア内に一部又は全部を埋め込まれた光ファイバと、光導波路コアと等しい屈折率を有し、光導波路クラッド内において光導波路コアに接合され、励起光を光導波路コア内で一定方向に伝搬周回するように導光する少なくとも一つの導光部とを備えたものである。

【手続補正 3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0028

【補正方法】変更

【補正内容】

【0028】また、本発明のレーザ光源装置は、光ファイバの出力端が、所望する波長の光を選択的に反射し他の波長は透過する反射素子を有し、他端には所望波長を含む広い波長帯域において光を反射する反射素子を有している。この出力端の反射素子はリング導波路から引き出している。これにより、出力端の反射素子が発熱体から離れるため反射波長の温度変化が少なくなり、発振波長変動を抑えることができる。

【手続補正 4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0029

【補正方法】変更

【補正内容】

【0029】更に、本発明のレーザ光源装置は、コア部とクラッド部からなる光ファイバに複数の半導体レーザを用いて側面から異なる波長の励起光を入射し、コア部内のレーザ活性物質を励起して光ファイバ内で共振させ、光ファイバの出力端から所望する波長の光を出力するレーザ光源装置であり、所定の断面及びクラッド部とほぼ等しい屈折率を有し、リング形状に形成された光導波路コアと、光導波路コアより低い屈折率を有し光導波路コアの周囲を取り囲む光導波路クラッドと、リング形状に沿って光導波路コア内に一部又は全部を埋め込まれた光ファイバと、光導波路コアと等しい屈折率を有し光導波路クラッド内において光導波路コアに接合され、複数の半導体レーザからの異なる波長の励起光を光導波路コア内で一定方向に伝搬周回するように各々導光する複数の導光部とを備えたものである。

フロントページの続き

(72)発明者 木村 正信

神奈川県横浜市磯子区新杉田町 8 番地 株式会社東芝横浜事業所内

(72)発明者 布施 一義

神奈川県横浜市磯子区新杉田町 8 番地 株式会社東芝横浜事業所内

(72)発明者 杉山 徹  
神奈川県横浜市磯子区新杉田町8番地 株  
式会社東芝横浜事業所内

(72)発明者 佐藤 考  
神奈川県横浜市磯子区新杉田町8番地 株  
式会社東芝横浜事業所内

Fターム(参考) 2H047 KA03 KA12 LA12 MA05 MA07  
QA04 QA05 RA00  
5F072 AB07 AB08 AB09 AK06 JJ02  
KK07 KK26 KK30 PP07

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**